

JP 2006-522938 A 2006.10.5

(49) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特許2006-522938

(P2006-522938A)

(43) 公表日 平成18年10月5日(2006.10.5)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
G01N 21/35 (2006.01)	G01N 21/35 Z	2G059
F23N 5/08 (2006.01)	F23N 5/08 J	3K003
F23N 5/00 (2006.01)	F23N 5/00 J	3K005
B01D 53/36 (2006.01)	B01D 53/34 12SE	4D002
B01D 53/74 (2006.01)	B01D 53/34 ZAB	4D048

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 40 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2006-509589 (P2006-509589)	(31) 出願人	506385415
(52) (22) 出願日	平成18年3月31日 (2006.3.31)		ゾロ テクノロジーズ、インコーポレイテッド
(53) 発明の発明日	平成17年11月24日 (2005.11.24)		アメリカ合衆国、コロラド スピリット、
(56) 国際出願番号	PCT/US2004/010048		ホルダー、ノース シックスティースード
(57) 国際公開番号	W02004/000498		ストリート 4946
(58) 国際公開日	平成18年10月21日 (2006.10.21)	(74) 代理人	100099759
(23) 優先権主張番号	50/458,108		弁理士 西本 寛
(54) 優先日	平成15年3月31日 (2003.3.31)	(74) 代理人	100062624
(55) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 森田 孝一
		(74) 代理人	100102810
			弁理士 島田 智郎
		(74) 代理人	100103516
			弁理士 下道 昌久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃焼の監視および制御のための方法と装置

## (57) 【要約】

選択されたレーザ発振周波数を有する2つ以上のダイオードレーザ(12)から成る検出装置(10)であって、ダイオードレーザの出力に光学結合されているマルチプレクサ(16)、および、このマルチプレクサは、さらに、ピッチ側の光ファイバに光学結合されている。多重化レーザ光が、石炭燃焼発電所またはガス燃焼発電所の燃焼室またはボイラであってよいプロセスチャンバ(22)に作動的に関連付けられているピッチ光学部品(20)にピッチ側光ファイバを通して伝送される。ピッチ光学部品(20)は、プロセスチャンバの中を通して多重化レーザ出力を放射するように方向配置されている。さらに、プロセスチャンバの中を通して放射された多重化レーザ出力を受け取るために、ピッチ光学部品に光学的に連絡しているキャッチ光学部品(24)が、プロセスチャンバと作動的に方向配置されている。このキャッチ光学部品(24)は、デマルチプレクサ(28)に多重化レーザ出力を伝送する光ファイバに光学結合されている。このデマルチプレクサ(28)はレーザ光を逆多重化し、および、光の選択されたレーザ発振周波数を検出器(25)に光学結合し、および、この検出器は、選択されたレーザ発振周波数の1つに対して感度を有する。

30

(2)

JP 2006-922538 A 2006.10.5

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

検出装置であって、

選択されたレーザ発振周波数を各々が有する 2 つ以上のダイオードレーザと、

前記ダイオードレーザの 2 つ以上に光学結合されているマルチブレイクサであって、多重化レーザ出力を出力し、かつ、前記多重化レーザ出力はビッチ側光ファイバの遠位端部に光学結合されているマルチブレイクサと、

前記ビッチ側光ファイバの遠位端部に光学結合されているビッチ光学部品であって、プロセスチャンバに作動的に関連付けられており、および、前記プロセスチャンバの中を通して前記多重化レーザ出力を放射するように方向配置されているビッチ光学部品と、

前記プロセスチャンバの中を通して放射された前記多重化レーザ出力を受け取るために前記ビッチ光学部品に光学的に連絡している、前記プロセスチャンバに作動的に関連付けられているキャッチ光学部品と、

前記キャッチ光学部品に近位端部において光学結合されているキャッチ側光ファイバと

、  
前記キャッチ側光ファイバの遠位端部に光学結合されているデマルチブレイクサであって、前記選択されたレーザ発振周波数の各々のレーザ光を逆多重化するデマルチブレイクサと

、  
前記デマルチブレイクサに光学結合されている検出器であって、前記選択されたレーザ発振周波数の 1 つに対する感度を有する検出器と、

を含む検出装置。

## 【請求項 2】

前記ダイオードレーザの 2 つ以上の各々を前記マルチブレイクサに対して光学結合する入力光ファイバと、

前記デマルチブレイクサの出力を前記検出器に結合する出力光ファイバと、

をさらに含む、請求項 1 に記載の検出装置。

## 【請求項 3】

前記ビッチ側光ファイバは単一モードファイバである、請求項 1 に記載の検出装置。

## 【請求項 4】

前記キャッチ側光ファイバはマルチモードファイバである、請求項 1 に記載の検出装置

## 【請求項 5】

前記ビッチ側光ファイバの前記遠位端部に光学結合されているビッチ側光路選択装置であって、さらに 2 つ以上のビッチ光学部品に光学結合されているビッチ側光路選択装置と

、  
前記キャッチ側光ファイバの前記近位端部に光学結合されているキャッチ側光路選択装置であって、さらに 2 つ以上のキャッチ光学部品に光学結合されているキャッチ側光路選択装置と、

をさらに含む、請求項 1 に記載の検出装置。

## 【請求項 6】

前記ビッチ側光路選択装置は、光スイッチと光ブリックの一方である、請求項 5 に記載の検出装置。

## 【請求項 7】

前記検出器から入力を受け取りかつ燃焼パラメータを測定するデータ処理システムをさらに含む、請求項 1 に記載の検出装置。

## 【請求項 8】

前記データ処理システムに作動的に関連付けられている、前記燃焼パラメータに影響を与える手段をさらに含む、請求項 7 に記載の検出装置。

## 【請求項 9】

前記マルチブレイクサと前記デマルチブレイクサの一方はエッジル格子を含む、請求項 1 に

(3)

JP 2006-522938 A 2006.10.5

記載の検出装置。

【請求項 10】

前記マルチプレクサと前記デマルチプレクサの一方は、さらに、  
単一の光学信号として多重化された互いに異なる波長の複数の光チャンネルを伝播させる多重光導波路と、

選択された焦点距離で前記多重光導波路に光学結合されている平行化／集束光学部品と

、  
前記平行化／集束光学部品に光学結合されているエシエル格子であって、複数の波長範囲の同時の逆多重化／多重化のために設けられている溝間隔とブレイズ角とを含み、および、前記波長範囲の各々は複数の中心波長の付近に集中させられており、かつ、前記中心波長の各々はこのエシエル格子動作の選択された次数に対応するエシエル格子と、

を含む、請求項 9 に記載の検出装置。

【請求項 11】

前記個別の波長範囲の複数の光チャンネルは、670 nm 以上の波長から 5200 nm 以下の波長まで及ぶ、請求項 10 に記載の検出装置。

【請求項 12】

前記エシエル格子動作の前記選択された次数は 2 次から 14 次である、請求項 10 に記載の検出装置。

【請求項 13】

前記エシエル格子の前記溝間隔は約 171.4 線/mm であり、および、前記エシエル格子の前記ブレイズ角は約 52.75 度である、請求項 10 に記載の検出装置。

【請求項 14】

前記マルチプレクサは、すべてよりは少ない数の前記ダイオードレーザに光学結合されており、かつ、前記ビッチ側光ファイバの前記遠位端部と非多重化入力ファイバの遠位端部とに光学結合されている光カプラをさらに含み、前記光カプラは、前記ビッチ側光ファイバからの多重化レーザ光と前記非多重化入力光ファイバからの非多重化レーザ光とを光学結合し、および、前記光カプラは前記ビッチ光学部品に光学的に連絡している、請求項 2 に記載の検出装置。

【請求項 15】

前記光カプラは、選択された長さの伝送光ファイバを経由して前記ビッチ光学部品に光学的に連絡し、および、前記伝送光ファイバの前記長さは、選択されたレベルよりも低くモードノイズを維持するように選択される、請求項 14 に記載の検出装置。

【請求項 16】

前記多重化レーザ光の波長は 1240 nm から 5200 nm の範囲内であり、および、非多重化レーザ光の波長は 1240 nm 未満である、請求項 15 に記載の検出装置。

【請求項 17】

前記光カプラは、選択された長さの伝送光ファイバを経由して前記ビッチ光学部品に光学的に連絡し、および、前記伝送光ファイバの前記長さは、前記伝送光ファイバを経由した伝送中に非多重化レーザ光がマルチモードにならないように選択される、請求項 14 に記載の検出装置。

【請求項 18】

前記非多重化入力光ファイバは SM 750 ファイバであり、および、前記ビッチ側光ファイバと前記伝送光ファイバは SMF 28 光ファイバである、請求項 17 に記載の検出装置。

【請求項 19】

前記伝送光ファイバの長さは 3 メートル以下である、請求項 18 に記載の検出装置。

【請求項 20】

キャッチ側のモードノイズを最小化するために前記キャッチ側のマルチモード光ファイバの一区間を機械的に操作するための手段をさらに含む、請求項 1 に記載の検出装置。

【請求項 21】



(4)

JP 2006-522938 A 2006.10.3

前記キャッチ側のマルチモード光ファイバは前記ファイバ長さに対して平行な縦軸を有し、および、前記機械的操作は、前記縦軸を中心として前記キャッチ側のマルチモード光ファイバを捻ることを含む、請求項 20 に記載の検出装置。

【請求項 22】

前記キャッチ側のマルチモード光ファイバの一区間を機械的に操作する前記手段は、前記ファイバの前記区間がモータの軸位置に対して相対的に取り付けられるように前記キャッチ側のマルチモード光ファイバに作動的に関連付けられているモータを含み、および、前記モータの軸は $\pm 360$ 度から $-360$ 度の動作によって反復的に掃引される、請求項 21 に記載の検出装置。

【請求項 23】

前記モータ軸の掃引の周波数が、前記伝送信号の有効な平行化を可能にし、かつ、それによってキャッチ側のモードノイズの影響を低減させるのに十分である、請求項 22 に記載の検出装置。

【請求項 24】

前記モータ軸の掃引の前記周波数は 10 ヘルツ以上である、請求項 23 に記載の検出装置。

【請求項 25】

前記キャッチ側の光ファイバに結合されているレーザー光の量を増大させるために、前記多重化レーザー出力の放射の方向に対する前記キャッチ光学部品のアライメント調整を可能にする、前記キャッチ光学部品に作動的に関連付けられているキャッチ側のアライメント調整機構をさらに含む、請求項 1 に記載の検出装置。

【請求項 26】

前記キャッチ側のアライメント調整機構は、第 1 および第 2 の直交軸に沿って前記キャッチ光学部品をチルトさせる手段を含み、直交の、前記第 1 および第 2 の軸は前記多重化レーザー出力の放射方向に対して実質的に直交している、請求項 25 に記載の検出装置。

【請求項 27】

前記キャッチ光学部品をチルトする前記手段はステップモータを含む、請求項 26 に記載の検出装置。

【請求項 28】

データ処理システムが、さらに、前記キャッチ側のアライメント調整機構に作動的に関連付けられており、および、前記データ処理システムは、検出器に結合されている多重化レーザー出力の強度に関係している前記キャッチ側光ファイバに光学結合されている前記検出器からのデータを受け取り、および、さらに、前記検出器に結合されている前記多重化レーザー出力の強度を最大化するように、前記キャッチ側のアライメント調整機構が前記キャッチ光学部品をアライメント調整することを引き起こす、請求項 27 に記載の検出装置。

【請求項 29】

前記ピッチ光学部品のアライメント調整と前記多重化レーザー出力の放射方向の調整とを可能にするピッチ側のアライメント調整機構をさらに含む、請求項 28 に記載の検出装置。

【請求項 30】

前記ピッチ側のアライメント調整機構は、第 1 および第 2 の直交軸に沿って前記ピッチ光学部品をチルトさせる手段を含み、および、前記第 1 および第 2 の軸は前記多重化レーザー出力の放射の方向に対して実質的に直交している、請求項 29 に記載の検出装置。

【請求項 31】

前記ピッチ光学部品をチルトする前記手段はステップモータを含む、請求項 30 に記載の検出装置。

【請求項 32】

前記データ処理システムは、さらに、前記キャッチ光学部品によって受け取られかつ前記検出器に結合される前記多重化レーザー出力の強度を最大化するために、前記ピッチ側ア

(5)

JP 2006-522938 A 2006.10.5

ラインメント調整機構が前記多重化レーザ出力の方向をアラインメント調整することを引き起こす、請求項 3 1 に記載の検出装置。

【請求項 3 3】

燃焼プロセスを検出する方法であって、

複数の選択されたレーザ発振周波数でレーザ光を供給することと、

前記レーザ光を多重化することと、

ビッチ側の光ファイバの中の前記多重化レーザ光をプロセス場所に伝送することと、

前記多重化レーザ光を燃焼プロセスの中を通して放射することと、

前記多重化レーザ光をキャッチ側の光ファイバの中に受け取ることと、

前記多重化レーザ光を逆多重化することと、

逆多重化レーザ光の周波数を検出器に伝送することと、

を含む方法。

【請求項 3 4】

前記検出器の出力から燃焼パラメータを求めることをさらに含む、請求項 3 3 に記載の方法。

【請求項 3 5】

前記求められた燃焼パラメータにしたがって前記燃焼プロセスを制御することをさらに含む、請求項 3 4 に記載の方法。

【請求項 3 6】

エシエル格子に基づくダイオードレーザ分光ガス検出装置であって、

選択されたレーザ発振周波数を有する 2 つ以上のダイオードレーザと、

前記ダイオードレーザに光学結合されている入力エシエル格子であって、前記選択されたレーザ発振周波数のレーザ光を多重化することを可能にする選択されたライン間隔と選択されたブレース角とを有する入力エシエル格子と、

前記エシエル格子からの多重化レーザ光を受け取るために前記エシエル格子に光学結合されている近位端部を有する光ファイバと、

前記光ファイバの遠位端部に光学結合されているビッチ光学部品であって、プロセスチャンバに作動的に関連付けられており、かつ、前記プロセスチャンバの中を通してレーザ光を放射するように方向配置されているビッチ光学部品と、

前記ビッチ光学部品に光学的に連絡している出力エシエル格子であって、前記選択されたレーザ発振周波数のレーザ光を逆多重化することを可能にする選択されたライン間隔と選択されたブレース角とを有する出力エシエル格子と、

対応する逆多重化レーザ発振周波数に光学結合されている、前記選択されたレーザ発振周波数の 1 つに対して感度を有する検出器と、

を備えるエシエル格子に基づくダイオードレーザ分光ガス検出装置。

【請求項 3 7】

前記ビッチ光学部品に光学的に連絡しておりかつ前記出力エシエル格子に光学的に連絡しているキャッチ光学部品をさらに備える、請求項 3 6 に記載のエシエル格子に基づくダイオードレーザ分光ガス検出装置。

【請求項 3 8】

2 つ以上の平行化光学部品をさらに備え、および、前記平行化光学部品の 1 つが前記出力エシエル格子と対応する検出器との間に光学結合されている、請求項 3 6 に記載のエシエル格子に基づくダイオードレーザ分光ガス検出装置。

【請求項 3 9】

前記入力エシエル格子と前記出力エシエル格子との各々は、さらに、複数の波長範囲の同時（逆）多重化を可能にする溝間隔とブレース角とを備え、および、前記波長範囲の各々は複数の中心波長の付近に集中させられており、かつ、前記中心波長の各々はエシエル格子動作の選択された次数に対応する。請求項 3 6 に記載のエシエル格子に基づくダイオードレーザ分光ガス検出装置。

【請求項 4 0】

(5)

JP 2005-522938 A 2005.10.5

前記複数のレーザ発振周波数の前記波長は、670nm以上の波長から5200nm以下の波長に及ぶ、請求項39に記載のエシエル格子に基づくダイオードレーザ分光ガス検出装置。

【請求項41】

前記エシエル格子動作の選択された次数は2次から14次である、請求項39に記載のエシエル格子に基づくダイオードレーザ分光ガス検出装置。

【請求項42】

前記溝間隔は約171.4線/mmであり、および、前記ブレイズ角は約52.75度である、請求項39に記載のエシエル格子に基づくダイオードレーザ分光ガス検出装置。

【請求項43】

前記入力エシエル格子と前記出力エシエル格子は単一の格子ではない、請求項36に記載のエシエル格子に基づくダイオードレーザ分光ガス検出装置。

【請求項44】

燃焼プロセスを検出する方法であって、

複数の選択された周波数のレーザ光を供給することと、

エシエル格子によって前記レーザ光を多重化することと、

前記多重化されたレーザ光を燃焼室の中を通して放射することと、

前記多重化レーザ光をエシエル格子によって逆多重化することと、

逆多重化されたレーザ光の周波数を検出器に伝送することと、

を含む方法。

【請求項45】

前記検出器の出力から燃焼パラメータを求めることをさらに含む、請求項44に記載の方法。

【請求項46】

前記求められた燃焼パラメータにしたがって前記燃焼プロセスを制御することをさらに含む、請求項45に記載の方法。

【請求項47】

ダイオードレーザ分光測定で使用するためのビッチ側光学システムであって、

選択されたレーザ発振周波数を有する2つ以上のダイオードレーザであって、別個の入力光ファイバの近位端部に各々が結合されているダイオードレーザと、

すべてより少ない数の前記入力光ファイバの遠位端部に光学結合されているマルチプレクサであって、前記すべてより少ない数の入力光ファイバからの多重化レーザ光をビッチ側の光ファイバの近位端部に光学結合するマルチプレクサと、

前記ビッチ側光ファイバの遠位端部と非多重化入力光ファイバの遠位端部とに光学結合されているカプラであって、前記ビッチ側光ファイバからの多重化レーザ光と前記非多重化入力光ファイバからの非多重化レーザ光とを伝送光ファイバの近位端部に光学結合するカプラと、

前記伝送光ファイバの遠位端部に光学結合されているビッチ光学部品と

を備えるビッチ側光学システム。

【請求項48】

前記入力光ファイバと、前記ビッチ側光ファイバと、前記伝送光ファイバは、単一モードの光ファイバである、請求項47に記載のビッチ側光学システム。

【請求項49】

前記伝送光ファイバの長さは、モードノイズを選択されたレベルより低く維持するように選択される、請求項47に記載のビッチ側光学システム。

【請求項50】

前記多重化レーザ光の波長は1240nmから5200nmの範囲内であり、および、前記非多重化レーザ光の波長は1240nm未満である、請求項49に記載のビッチ側光学システム。

【請求項51】



(7)

JP 2006-522928 A 2006.10.5

前記伝送光ファイバの長さは、前記非多重化レーザ光が前記伝送光ファイバを経由した伝送中にマルチモードにならないように選択される、請求項50に記載のビッチ側光学システム。

【請求項52】

前記非多重化入力光ファイバはSM 750ファイバであり、および、前記多重光ファイバと前記伝送光ファイバはSMF 28光ファイバである、請求項51に記載のビッチ側光学システム。

【請求項53】

前記伝送光ファイバの長さは3メートル以下である、請求項52に記載のビッチ側光学システム。

10

【請求項54】

ダイオードレーザ分光測定で使用するキャッチ側の光学システムであって、

キャッチ側のマルチモード光ファイバの近位端部に光学結合されているキャッチ光学部品と、

キャッチ側のモードノイズを低減させるために前記キャッチ側のマルチモード光ファイバの一區間を機械的に操作する手段と、

を備えるキャッチ側光学システム。

【請求項55】

前記キャッチ側のマルチモード光ファイバは前記ファイバ長さに対して平行な縦軸を有し、および、前記機械的操作は、前記縦軸を中心として前記キャッチ側のマルチモード光ファイバを捻ることを含む、請求項54に記載のキャッチ側光学システム。

20

【請求項56】

前記キャッチ側のマルチモード光ファイバの前記區間を機械的に操作する手段は、前記ファイバの前記區間がモータの軸位置に対して相対的に取り付けられるように前記キャッチ側のマルチモード光ファイバに作動的に関連付けられているモータを備え、および、前記モータの軸は+360度から-360度の動作によって反復的に揺引される、請求項55に記載のキャッチ側光学システム。

【請求項57】

前記モータ軸の揺引の周波数が、前記伝送信号の有効な平均化を可能にし、かつ、それによってキャッチ側のモードノイズの影響を低減させる、請求項56に記載のキャッチ側光学システム。

30

【請求項58】

前記揺引軸の周波数は10ヘルツ以上である、請求項57に記載のキャッチ側光学システム。

【請求項59】

ダイオードレーザ分光ガス検出装置であって、

選択されたレーザ共振周波数を有するダイオードレーザと、

前記ダイオードレーザに光学結合されているビッチ光学部品であって、プロセスチャンバに作動的に関連付けられており、かつ、前記プロセスチャンバの中を通して放射ビームに沿ってレーザ光を放射するように方向配置されているビッチ光学部品と、

40

前記プロセスチャンバの中を通して放射される前記レーザ光を受け取るために前記ビッチ光学部品に光学的に連絡しているキャッチ光学部品と、

前記キャッチ光学部品に光学結合されている光ファイバと、

前記ビッチ光学部品から前記キャッチ光学部品によって受け取られかつ前記光ファイバに結合されるレーザ光の量を最大化するように、前記放射ビームに対する前記キャッチ光学部品のアライメント調整を可能にする、前記キャッチ光学部品に作動的に関連付けられているキャッチ側のアライメント調整機構と、

前記光ファイバに光学結合されている、前記選択されたレーザ共振周波数に対して感度を有する検出器と、

を備えるダイオードレーザ分光ガス検出装置。

50

(6)

JP 2006-572938 A 2006.10.5

## 【請求項60】

前記キャッチ側のアライメント調整機構は、第1および第2の直交軸に沿って前記キャッチ光学部品をチルトさせる手段を含み、および、前記第1および第2の軸は前記放射ビームに対して実質的に直交している、請求項59に記載のダイオードレーザ分光ガス検出装置。

## 【請求項61】

前記キャッチ光学部品をチルトする手段はステップモータを含む、請求項60に記載のダイオードレーザ分光ガス検出装置。

## 【請求項62】

前記ピッチ光学部品によって放射されて前記キャッチ光学部品によって受け取られるア  
ライメント光ビームと、 10

前記検出器と前記キャッチ側アライメント調整機構とに作動的に関連付けられているデータ処理システムであって、前記検出器に結合されている前記アライメントビームの強度に関係している前記検出器からのデータを受け取り、および、さらに、前記検出器に結合されている前記アライメントビームの強度を最大化するために、前記キャッチ側アライメント調整機構が前記キャッチ側光学部品を前記放射ビームに対してアライメント調整することを引き起こすデータ処理システムと、

をさらに備える、請求項59に記載のダイオードレーザ分光ガス検出装置。

## 【請求項63】

前記ピッチ光学部品のアライメント調整と前記放射ビームの方向の調整とを可能にする  
ピッチ側アライメント調整機構をさらに備える、請求項59に記載のダイオードレー  
ザ分光ガス検出装置。 20

## 【請求項64】

前記ピッチ側アライメント調整機構は、第1および第2の直交軸に沿って前記キャッチ光学部品をチルトさせる手段を含み、および、前記第1および第2の軸は前記放射ビームに対して実質的に直交している、請求項63に記載のダイオードレーザ分光ガス検出装置。

## 【請求項65】

前記ピッチ光学部品をチルトさせる前記手段はステップモータを含む、請求項64に記載のダイオードレーザ分光ガス検出装置。 30

## 【請求項66】

前記データ処理システムは、さらに、前記キャッチ光学部品によって受け取られかつ前記検出器に結合される前記アライメントビームの強度を最大化するために、前記ピッチ側アライメント調整機構が前記放射ビームの方向をアライメント調整することを引き起こす、請求項65に記載のダイオードレーザ分光ガス検出装置。

## 【請求項67】

ダイオードレーザ分光ガス検出光学システムをアライメント調整する方法であって、  
アライメント光ビームを供給することと、  
プロセスチャンパの中を過して前記アライメントビームを放射することと、  
前記プロセスチャンパに作動的に関連付けられているキャッチ光学部品によって前記ア  
ライメントビームを受け取ることと、 40

前記キャッチ光学部品からの前記アライメントビームを光ファイバを經由して検出器に光学結合させることと、

前記キャッチ光学部品から前記光ファイバに結合された前記アライメントビームの強度を測定することと、

前記キャッチ光学部品から前記光ファイバに結合された前記アライメントビームの強度を最大化するように前記キャッチ光学部品をアライメント調整することと、

を含む、ダイオードレーザ分光ガス検出光学システムをアライメント調整する方法。

## 【請求項68】

前記アライメント調整段階は、第1および第2の直交軸に沿って前記キャッチ光学部 50



(9)

JP 2006-522938 A 2006.10.5

品をチルトさせることを含む請求項67に記載のダイオードレーザ分光ガス検出光学システムをアラインメント調整する方法。

【請求項69】

前記アラインメントビームはビッチ光学部品によって放射され、および、前記キャッチ光学部品から光学部品前記光ファイバに結合された前記アラインメントビームの強度を最大化するために前記ビッチ光学部品をアラインメント調整することをさらに含む、請求項67に記載のダイオードレーザ分光ガス検出光学システムをアラインメント調整する方法。

【請求項70】

前記ビッチ光学部品をアラインメント調整する前記段階は、第1および第2の直交軸に沿って前記ビッチ光学部品をチルトさせることを含む、請求項69に記載のダイオードレーザ分光ガス検出光学システムをアラインメント調整する方法。

【請求項71】

前記アラインメントビームの強度を最大化するために前記ビッチ光学部品と前記キャッチ光学部品とを逐次的にチルトさせることをさらに含む、請求項70に記載のダイオードレーザ分光ガス検出光学システムをアラインメント調整する方法。

【請求項72】

波長可変ダイオードレーザ吸収分光法を使用して燃焼プロセスにおけるNOを検出する方法であって、

約670nmの波長のレーザ光を供給することと、  
 ビッチ側光学部品の中の前記レーザ光をガスプロセス場所に伝送することと、  
 ガスプロセスの中を通して前記レーザ光を放射することと、  
 キャッチ側の光ファイバ内に前記レーザ光を受け取ることと、  
 前記キャッチ側の光ファイバ内の前記レーザ光を検出器に伝送することと、  
 前記検出器に伝送された前記レーザ光に関係している前記検出器からの信号を生成することと、  
 前記信号からNO<sub>x</sub>濃度を計算することと、  
 前記NO<sub>x</sub>濃度からNO濃度を求めることと、  
 を含む方法。

【請求項73】

約670nmの波長の前記レーザ光は、  
 ダイオードレーザによって約1340nmの波長を持つレーザ光を生じさせることと、  
 疑似位相整合周期分極導波路内で前記レーザ光を周波数2倍化することと、  
 によって提供される、請求項72に記載の方法。

【請求項74】

前記疑似位相整合周期分極導波路は疑似位相整合周期分極ニオブ酸リチウム導波路である、請求項73に記載の方法。

【請求項75】

NO<sub>x</sub>の選択触媒還元または無触媒還元においてアンモニア注入を最適化する方法であって、

NO<sub>x</sub>搬送ガスシステム内にアンモニア注入器を設けることと、  
 NO<sub>x</sub>搬送ガス流の一部分のアンモニア濃度またはNO<sub>x</sub>濃度を求めるために、前記アンモニア注入器の下流において前記NO<sub>x</sub>搬送ガス流の一部分を「その場で」多重化光ビームによって標本抽出することと、  
 を含む方法。

【請求項76】

アンモニア注入器の2次元格子が前記NO<sub>x</sub>搬送ガス流内に設けられ、および、前記標本抽出段階は、前記NO<sub>x</sub>搬送ガス流の一部分の2次元格子を複数の多重化光ビームによって同時に標本抽出することをさらに含む、請求項75に記載の方法。

【請求項77】

(10)

JP 2006-522932 A 2006.10.5

前記NO<sub>x</sub>搬送ガス流の標本抽出された部分において、選択されたレベルにNO<sub>x</sub>濃度を減少させるために、必要に応じて前記アンモニア注入器の放出量を調整することをさらに含む、請求項75に記載の方法。

【請求項78】

前記多重化光ビームの選択された波長の吸収を測定することと、  
前記測定された吸収から前記NO<sub>x</sub>搬送ガス流の前記一部分の濃度を測定することと、  
をさらに含む、請求項75に記載の方法。

【請求項79】

NO<sub>x</sub>含有ガス流中のNO<sub>x</sub>の選択触媒還元または無触媒還元のための装置であって、  
前記NO<sub>x</sub>含有ガス流中に存在するように構成されているアンモニア注入器と、  
多重化光ビームによって前記アンモニア注入器の下流において前記NO<sub>x</sub>含有ガス流の一部分を標本抽出するように構成されているレーザ分光装置と、  
を備える装置。

【請求項80】

前記NO<sub>x</sub>含有ガス流中に存在するように構成されているアンモニア注入器の2次元格子と、  
多重化光ビームによって前記アンモニア注入器の下流において前記NO<sub>x</sub>搬送ガスの一部分の2次元格子を標本抽出するように構成されているレーザ分光装置と、  
をさらに含む、請求項79に記載の装置。

【請求項81】

前記レーザ分光装置は、  
選択されたレーザ発振周波数を各々が有する2つ以上のダイオードレーザと、  
前記ダイオードレーザの2つ以上に光学結合されているマルチプレクサであって、多重化レーザ出力を出力し、かつ、前記多重化レーザ出力はピッチ側光ファイバの近位端部に光学結合されているマルチプレクサと、  
前記ピッチ側光ファイバの遠位端部に光学結合されているピッチ光学部品であって、プロセスチャンバに作動的に関連付けられており、および、前記プロセスチャンバの中を通して前記多重化レーザ出力を放射するように方向配置されているピッチ光学部品と、  
前記プロセスチャンバの中を通して放射される前記多重化レーザ出力を受け取るために前記ピッチ光学部品に光学的に連絡している、前記プロセスチャンバに作動的に関連付けられているキャッチ光学部品と、  
前記キャッチ光学部品に近位端部において光学結合されているキャッチ側光ファイバと、  
前記キャッチ側光ファイバの遠位端部に光学結合されているデマルチプレクサであって、前記選択されたレーザ発振周波数の各々のレーザ光を逆多重化するデマルチプレクサと、  
前記デマルチプレクサに光学結合されている検出器であって、前記選択されたレーザ発振周波数の1つに対する感度を有する検出器と、  
を備える、請求項79に記載の装置。

【請求項82】

前記ピッチ側光ファイバの前記遠位端部に光学結合されている光スプリッタであって、2つ以上のピッチ光学部品に結合されている光スプリッタと、  
各ピッチ光学部品に光学的に連絡しているキャッチ光学部品と、  
をさらに備える、請求項81に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、燃焼プロセスの監視および制御のための方法と装置とに関し、および、さらに特に、燃焼プロセスの監視および制御のための可変波長ダイオードレーザ吸収分光法の使用に関する。

【背景技術】

【0002】

アメリカ合衆国内で発電される電力の大部分は石炭燃焼発電所で発電されている。同様に、世界中の発電の大部分が一次エネルギー源としての石炭に依存している。核エネルギー生産運転からの廃棄物の貯蔵に関する長期的な環境問題と、太陽光発電に関連した非効率性とを考慮に入れると、当分の間は石炭が一次エネルギー源のまま残る可能性が高い。これに加えて、現在の割合での200年以上にわたるエネルギー生産に十分なだけの莫大な埋蔵量の石炭が世界中に存在する。

【0003】

しかし、石炭燃焼発電に関連している汚染物質の放射を削減することと、石炭燃焼発電プロセスの全体的な効率を向上させることへの高い要求が存続しているし、将来も存続するだろう。従来においては、発電所と他の工業的な燃焼環境において、燃焼プロセスの効率と汚染物質放出のレベルとが、非分散型赤外（NDIR）光度測定のような技術を用いて抽出ガス標本から採られた測定値によって間接的に求められてきた。抽出サンプリングシステムは、ガス抽出時点と最終的な分析との間に大きな遅延が生じさせられる可能性があるため、燃焼プロセスの閉ループ制御には特に良く適しているというわけではない。さらに、抽出プロセスは、一般的に、高度に可変的で動的な燃焼プロセスチャンバであり得るものの内部における測定対象の化学種の実際の濃度を表しているかも知れないし表していないかも知れない一点測定値を結果的にもたらす。

【0004】

最近では、レーザ方式の光学化学種センサ（optical species sensor）が、抽出測定技術に関連した問題に対処するために実現されている。レーザ方式の測定技術は「その場で」実現されることが可能であり、および、動的なプロセス制御に適している高速フィードバックというさらに別の利点を提供することが可能である。燃焼ガスの組成と温度と他の燃焼パラメータとを測定するための特に有望な技術が、波長可変ダイオードレーザ吸収分光法（tunable diode laser absorption spectroscopy）（TDLAS）である。TDLASは、典型的には、近赤外スペクトル領域と中赤外スペクトル領域とにおいて動作するダイオードレーザによって実現される。適しているレーザは、遠距離通信産業における使用のために大規模に開発されており、および、したがって、TDLAS用途のために容易に入手可能である。燃焼プロセスの検出と制御とに多少とも適している様々なTDLAS技術が開発されている。一般的に知られている技術が、波長変調分光法と、周波数変調分光法と、直接吸収分光法である。これらの技術の名々は、光が燃焼プロセスチャンバの中を通して伝導され、および、プロセスチャンバすなわち燃焼室内に存在するガスに固有の特定のスペクトル帯において吸収され終わった後に検出器によって受け取られる、レーザ光の量と性質との間の予め求められた関係に基づいている。検出器によって受け取られた吸収スペクトルは、分析対象であるガス化学種の量とこれに関連した燃焼パラメータ（例えば、温度）とを求めるために使用される。

【0005】

例えば、Von Drasek他の米国特許出願番号2002/0031737A1は、高温度のプロセスの監視および／または制御のために波長可変ダイオードレーザを使用する方法および装置を開示している。Von Drasekは、多数の燃焼化学種の相対濃度と温度と他のパラメータとを求めるための直接吸収分光法の使用を特徴とする。Calabroの米国特許番号第5,813,767号は、燃焼室内で生じる燃焼と汚染物質とを監視するための同様のシステムを開示する。Calabroは、吸収特徴の形態の観察されたドップラーの広がり温度分析のための基礎の役割を果たす間接分光法技術を使用する。

【0006】

Teichert, FernholzおよびEbertは、実物大の石炭燃焼発電所のボイラ火球における幾つかの燃焼パラメータの検出に適している実現可能な実地解決策に対する既知の実験室分析としてTDLASの使用を拡張している。彼らの論文“Simultan



(12)

JP 2006-522930 A 2006.10.5

eous in situ Measurement of CO, H<sub>2</sub>O, and Gas Temperature in a Full-Sized, Coal-Fired Power Plant by Near-Infrared Diode Lasers" (Applied Optics, 42(12):2043, 20 April 2003) では、この著者たちは、石炭燃焼発電所における直接吸収分光法の実行の成功を発表し、および、石炭燃焼プロセスの極度に大きな規模と激しい性質とから結果的に生じる特定の技術的難題を論議する。特に、典型的な石炭燃焼発電所は10～20メートルの燃焼室直径を有する。この発電所は微粉炭によって燃焼させられ、このことは、高い粉塵負荷のせいでレーザ光の透過を速やかかつ程度に明るい燃焼プロセスを結果的に生じさせる。これに加えて、発電所の燃焼条件下において激しい外乱が発見される。プロセスチャンバの中を通過する光の総合的な透過率は、広帯域の吸収、微粒子による散乱、または、屈折率の変動に起因するビームの方向変化の結果として、時間の経過に応じて劇的に変動する。さらに、検出器信号に干渉する可能性がある燃焼石炭微粒子からの激しい熱背景放射もある。発電所ボイラの外側の環境も、TDLAS検出または制御システムの實現を困難なものにする。例えば、あらゆる電子機器、光学部品、または、他の高感度の分光法構成要素が、強烈な熱から遠く離されて配置されなければならない、または、適切に保護され冷却されなければならない。TDLASシステムの実現がこうした条件下では極めて困難であるが、TDLASは石炭燃焼プロセスを監視し制御するのに特に適している。本発明は、上述のTDLASの実現の問題点の1つまたは複数を克服することを意図している。

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一側面が、選択されたレーザ発振周波数を有する2つ以上のダイオードレーザと、これらのダイオードレーザの出力に光学結合されているマルチプレクサとから成り、および、このマルチプレクサがさらにピッチ側光ファイバ (pitch side optical fiber) に光学結合されている検出装置である。多重化されたレーザ光が、ピッチ側光ファイバを通して、石炭燃焼発電所またはガス燃焼発電所の燃焼室またはボイラであってよいプロセスチャンバに作動的に関連付けられているピッチ光学部品 (pitch optic) に送られる。このピッチ光学部品は、プロセスチャンバの中を通して多重化レーザ出力を放射するように方向配置されている。さらに、プロセスチャンバの中を通して放射される多重化レーザ出力を受け取るために、ピッチ光学部品に光学的に連絡するキャッチ光学部品 (catch optic) が、プロセスチャンバに作動的に過渡させられている。本明細書で使用される場合の「結合されている (coupled)」、「光学結合されている (optically coupled)」または「光学的に連絡している (in optical communication with)」は、光が中間の構成要素または自由空間を通過してまたは通過せずに第1の構成要素から第2の構成要素に進むことができる、相対物の相互間の機能的関係と定義される。キャッチ光学部品は、多重化レーザ出力をデマルチプレクサに送る光ファイバに光学結合されている。このデマルチプレクサはレーザ光を逐多重化して、光の選択されたレーザ発振周波数を検出器に光学結合し、および、この検出器は、選択されたレーザ発振周波数の1つに対して感度を有する。採用随意に、この検出装置は、検出器と、デマルチプレクサの出力ファイバに光学結合されているマルチプレクサとの以前に、対応する別個の入力光ファイバに光学結合されている各々のダイオードレーザを有してもよい。ピッチ側の光ファイバは単一モードのファイバであってもよく、および、キャッチ側の光ファイバはマルチモードのファイバであってもよい。採用随意に、この検出装置は、さらに、ピッチ側の光ファイバに光学結合されており、かつ、プロセスチャンバに作動的に関連付けられている2つ以上の対のピッチ光学部品およびキャッチ光学部品に多重化レーザ出力を送る、ピッチ側の光路選択装置から成ってもよい。この光路選択装置は、光スイッチ、光スプリック、または、一般的に入手可能な他の標準規格品としての遠距離通信用の光路選択装置であってよい。採用随意に、この検出装置は、さらに、検出器からの入力を受け取り、かつ、その検出器データから燃焼パラメータを求めるために公知のレーザ分光法技術を使用するデータ処理システムから成ってよい。この検出装置は、さらに、そのデータ処理システムの出力に基づいて燃焼パラ

(13)

JP 2006-522938 A 2006.10.5

ワークに影響を及ぼす手段を有してもよい。例えば、この検出装置は、そのデータ処理システムによって求められた燃焼パラメータにしたがって、そのデータ処理システムに対して応答する、空気流、燃料流、または、触媒もしくは化学薬劑の添加のような燃焼入力のカローズドループ制御を実現してもよい。

#### 【0008】

この検出装置は、マルチプレクサまたはアマルチプレクサ内においてエシェル格子を使用してもよい。マルチプレクサまたはアマルチプレクサの追加の構成要素が、光導波路と平行化／集束光学部品 (collimating focusing optic) とを含んでもよい。平行化／集束光学部品に結合されている反射性のエシェル格子は、典型的には、複数の鏡面の広く間隔があいた波長の光の同時逆多重化を実現するための溝間隔とブレース角とを有するだろう。適切なエシェル格子は、典型的には、670 nm以上の波長から5200 nm以下の波長までを多重化または逆多重化することが可能だろう。これを実現するために、エシェル格子は、2次から少なくとも14次の回折次数で動作するだろう。このエシェル格子は、典型的には、約171、4線/mmの溝間隔と約52、75度のブレース角とを有するだろう。

#### 【0009】

採用随意に、この検出装置は、すべてよりは少ない数のダイオードレーザに光学結合されているマルチプレクサを有してよく、および、さらに、マルチプレクサの出力と任意の非多重化ダイオードレーザの別個の出力とに結合されている光カブラから成ってもよい。こうした採用随意の実施態様では、光カブラは、選択された長さの伝送光ファイバを経由してピッチ光学部品と光学的に連絡するだろう。伝送光ファイバの長さは、モードノイズを最小化するように選択されてよい。例えば、伝送光ファイバは3メートル以下の長さで具体化されてよく、および、1240 nm未満の波長、特に760 nmの波長が伝送光ファイバを経由した伝送中にマルチモードにならないことを確実なものにするCorning SMF 28 光ファイバで作られてよい。

#### 【0010】

この検出装置は、さらに、キャッチ側のモードノイズを最小化するためにキャッチ側の光ファイバの一区間を機械的に操作するための手段から成ってもよい。キャッチ側の光ファイバの一区間を機械的に操作するための適切な手段の一例が、そのファイバに取り付けられているキャッチ側の光ファイバの縦軸に対して平行な軸を有しかつその縦軸を中心とした捻り運動を実現するモータから成る。この捻り運動は、伝送される信号を効果的に平均化してキャッチ側のモードノイズを低減させるために、少なくとも10 Hzのレートにおける+360度および-360度の掃引 (sweep) から成ってもよい。

#### 【0011】

採用随意に、この検出装置は、さらに、多重化レーザ出力の放射方向を基準としたキャッチ光学部品のアラインメント調整を可能にする、キャッチ光学部品に関連付けられているキャッチ側のアラインメント調整機構から成ってもよい。このアラインメント調整機構は、ピッチ光学部品からキャッチ光学部品によって受け取られてキャッチ側の光ファイバに結合されるレーザ光の量を増大させるだろう。このアラインメント調整機構は、第1の軸とこの第1の軸に対して垂直である第2の軸とに沿ってキャッチ光学部品がチルト (tilt) することを可能にする装置から成ってよく、および、この第1の軸と第2の軸との両方は多重化レーザ出力の放射方向に対して実質的に直交している。ステップモータがキャッチ光学部品をチルトさせるために使用されてよく、および、データ処理システムが、さらに、このキャッチ側のアラインメント調整機構に関連付けられてよく、かつ、検出器に結合されている多重化レーザ出力の強度に関連付けられているその検出器からのデータを受け取り、かつ、そのキャッチ側のアラインメント調整機構がキャッチ光学部品をアラインメント調整することを生じさせてもよい。あるいは、これに対する代案として、別個のアラインメントビームがキャッチ光学部品に対して放射されて、アラインメント調整のための基準として使用されてもよい。同様のアラインメント調整機構が、ピッチ光学部品のアラインメント調整と多重化レーザ出力の放射方向の調整とを実現するために、検出装置の



(14)

JP 2006-522938 4 2006.10.5

ピッチ側に実装されてもよい。

#### 【0012】

本発明の別の側面が、複数の選択されたレーザ発振周波数のレーザ光を供給することと、そのレーザ光を多重化することと、ピッチ側の光ファイバ内の多重化レーザ光をプロセス場所に伝送することとから成る、燃焼プロセスの検出方法である。このプロセス場所は、ガス燃焼発電所または石炭燃焼発電所のボイラのような燃焼室であってよい。多重化レーザ光をプロセス場所に伝送した後に、この方法は、さらに、多重化レーザ光を燃料プロセスの中を通して放射することと、キャッチ側の光ファイバ内に多重化レーザ光を受け取ることと、この多重化レーザ光を逆多重化することと、この逆多重化されたレーザ光の周波数を検出器に伝送することとから成る。採用随意に、この方法は、さらに、検出器の出力から燃焼パラメータを求めることと、その求められた燃焼パラメータにしたがって燃焼プロセスを制御することとから成ってよい。

#### 【0013】

本発明の別の側面が、選択されたレーザ発振周波数のレーザ光の多重化を実現する選択されたライン間隔と選択されたブレース角とを有する入力エシェル格子に光学結合されている選択されたレーザ発振周波数を有する2つ以上のダイオードレーザから成る、エシェル格子に基づくダイオードレーザ分光ガス検出装置である。この装置は、さらに、エシェル格子の出力に光学結合されておりかつエシェル格子から多重化レーザ光を受け取る光ファイバから成る。これに加えて、ピッチ光学部品は光ファイバの遠位端部に光学結合されており、および、このピッチ光学部品は燃焼室であることが可能なプロセスチャンバに作動的に関連付けられており、かつ、プロセスチャンバの中を通してレーザ光を放射するように方向付けられている。この装置は、さらに、ピッチ光学部品に対して光学的に連絡している出力エシェル格子から成り、および、この出力エシェル格子は、選択されたレーザ発振周波数のレーザ光の逆多重化を実現する選択された溝間隔と選択されたブレース角とを有する。これに加えて、選択されたレーザ発振周波数の1つに対して感度を有する2つ以上の検出器が、出力エシェル格子に光学結合されている。本発明のこの側面の装置は、さらに、ピッチ光学部品と光学的に連絡しておりかつ出力エシェル格子と光学的に連絡しているキャッチ光学部品から成ってよい。さらに、1つまたは複数の平行化光学部品がエシェル格子の出力とこれに対応する検出器との間に光学結合されてよい。ダイオードレーザ分光ガス検出装置のエシェル格子は、複数の範囲の互いに広く間隔があいた波長の同時(逆)多重化を可能にする溝間隔とブレース角とを有してよい。適切なエシェル格子は、670nm以上の波長から5200nm以下の波長までを有する光学チャネルを(逆)多重化することが可能である。こうしたエシェル格子は、2次から14次の屈折で動作し、および、約171.4線/mmの溝間隔と約2.75度のブレース角とを有してよい。

#### 【0014】

本発明の別の側面が、複数の選択されたレーザ発振周波数のレーザ光を供給することと、エシェル格子を使用してそのレーザ光を多重化することと、燃焼プロセスの中を通して多重化レーザ光を放射することと、エシェル格子を使用して多重化レーザ光を逆多重化することと、逆多重化されたレーザ光の周波数を検出器に伝送することとから成る、燃焼プロセス検出方法である。この方法は、さらに、検出器の出力から燃焼パラメータを求めることと、その求められた燃焼パラメータにしたがって燃焼プロセスを制御することとから成ってよい。

#### 【0015】

本発明の別の側面が、選択されたレーザ発振周波数を有する2つ以上のダイオードレーザから成り、かつ、この各ダイオードが個別の入力光ファイバの末端に結合されている、ダイオードレーザ分光法において使用するためのピッチ側光学システムである。このピッチ側光学システムは、さらに、すべてよりは少ない数の入力光ファイバの他方の末端に光学結合されているマルチプレクサから成ってよく、および、このマルチプレクサは多重化レーザ光をピッチ側光ファイバに出力する。典型的には、ダイオードレーザとマルチプレ



クサは、燃焼プロセスチャンバから遠く離して配置されている温度調整された室内に収容されるだろう。ピッチ側光学システムは、さらに、ピッチ側光ファイバの遠方の末端と非多重化入力光ファイバの遠方の末端とに光学結合されているカブラから成り、および、このカブラは多重化レーザー光と非多重化レーザー光とを組み合わせ、この組み合わせられた光を伝送光ファイバに出力する。典型的には、このカブラは燃焼プロセスの付近に配置されている。ピッチ側光学システムは、さらに、伝送光ファイバに結合されているピッチ光学部品から成る。典型的には、ピッチ側光学システムで使用されるすべての光ファイバは単一モード光ファイバである。伝送光ファイバの長さは光学ノイズを最小化するように選択されてよい。特に、比較的より短い波長（例えば、 $760\text{ nm}$ ）のレーザー光が例えば $1240\text{ nm}$ から $5200\text{ nm}$ の比較的長い波長のレーザー光と多重化されており、かつ、こうした多重化ビームが、伝送スペクトル全体にわたって高い曲げの速度と他の伝送損失とを示さない適切な市販の遠距離通信用光ファイバにおいて伝送されている場合には、相対的により短い波長が、延長された距離にわたってマルチモードになることがある。したがって、伝送ファイバの長さが、モードノイズの発生を最小化するように選択されてよい。例えば、伝送ファイバがCorning SMF 28光ファイバである時に、3メートル以下の伝送ファイバ長さが、顕著なマルチモード挙動の発生なしに、 $760\text{ nm}$ の波長を有するレーザー光をカブラからピッチ光学部品に伝送することが可能である。

#### 【0016】

本発明の別の側面が、キャッチ側のマルチモード光ファイバに光学結合されているキャッチ側光学部品と、キャッチ側のモードノイズを最小化するためにキャッチ側のマルチモード光ファイバの一區間を機械的に操作する手段とから成る、ダイオードレーザー分光法で使用するためのキャッチ側光学システムである。この機械的操作は、キャッチ側のマルチモード光ファイバをその縦軸を中心として捻ることから成ってよい。上述の仕方ではキャッチ側のマルチモード光ファイバの一區間を機械的に操作する手段は、ファイバの一區間がモータの軸位置に対して相対的に迅速に保持され、かつ、このモータの軸が $+360$ 度の運動と $-360$ 度の運動とによって反復的に掃引されるように、キャッチ側のマルチモード光ファイバに関連付けられているモータから成ってもよい。このモータの軸の掃引の周波数は、伝送される信号の効果的な平均化を可能にするために、かつ、それによってキャッチ側のモードノイズの影響を減少させるために、 $10\text{ Hz}$ 以上であってよい。

#### 【0017】

本発明の別の側面が、選択されたレーザー発振周波数を有するダイオードレーザーを備えるダイオードレーザー分光ガス検出装置であって、ピッチ光学部品がそのダイオードレーザーに結合されており、および、そのピッチ光学部品は、プロセスチャンバに作動的に関連付けられており、かつ、プロセスチャンバを通過する放射ビームに沿ってレーザー光を放射するように方向付けられている。これに加えて、本発明のこの側面は、プロセスチャンバの中を通して放射されたレーザー光を受け取るためにピッチ光学部品と光学的に連絡しているキャッチ側光学部品と、このキャッチ側光学部品に光学結合されている光ファイバとを含む。これに加えて、キャッチ側光学部品は、ピッチ側光学部品からキャッチ側光学部品によって受け取られるレーザー光の量を増大させるために放射ビームに対するキャッチ側光学部品のアライメント調整を可能にするキャッチ側のアライメント調整機構に作動的に関連付けられており、および、光ファイバと、その光ファイバに光学結合されている選択されたレーザー発振周波数に対して感度をもつ検出器とに結合されている。このキャッチ側アライメント調整機構は、第1の軸とこの第1の軸に対して直交する第2の軸とに沿ってキャッチ側光学部品をチルトさせる手段から成ってよく、および、この第1の軸と第2の軸との両方は放射ビームに対して実質的に直交である。キャッチ側光学部品をチルトさせるこの手段は、ステップモータであってよい。ダイオードレーザー分光ガス検出装置は、さらに、ピッチ側光学部品によって放射されてキャッチ側光学部品によって受け取られるアライメント光ビームから成ってよく、および、検出器とキャッチ側のアライメント調整機構とに作動的に関連付けられているデータ処理システムが、アライメントビームの強度に関係した検出器からのデータを受け取り、および、検出器に結合されているアライメントビームの強

(16)

JP 2006-522938 A 2006.10.5

度を最大化するために、キャッチ側のアライメント調整機構がキャッチ側の光学部品を放射ビームとアライメント調整することを生じさせてよい。本発明のこの側面のダイオードレーザ分光ガス検出装置は、さらに、ピッチ光学部品のアライメント調整と放射ビームの方向の調整とを実現するためのピッチ側のアライメント調整機構から成ってよい。このピッチ光学部品は、キャッチ光学部品に関して概ね上述した通りに実現されてよい。

#### 【0018】

本発明の別の側面が、ダイオードレーザ分光ガス検出光学システムをアライメント調整する方法である。この方法は、アライメント光ビームを供給することと、プロセスチャンバの中を通してそのアライメント光ビームを放射することと、キャッチ光学部品によってそのアライメントビームを受け取ることとから成り、および、このキャッチ光学部品はプロセスチャンバに作動的に関連付けられている。この方法は、さらに、キャッチ光学部品からのアライメントビームを光ファイバを通して検出器に光学的に結合することと、キャッチ光学部品から光ファイバに結合されるアライメントビームの強度を測定することとから成る。これに加えて、この方法は、キャッチ光学部品から光ファイバに結合されたアライメントビームの強度を最大化するようにキャッチ光学部品をアライメント調整することから成る。ダイオードレーザ分光ガス検出光学システムをアライメント調整する方法は、さらに、第1の軸とこの第1の軸に対して直交する第2の軸とに沿ってキャッチ光学部品をシフトさせることから成ってよい。あるいは、これに対する代替として、アライメントビームはピッチ光学部品によって放射されてもよく、および、このピッチ光学部品も、キャッチ光学部品から光ファイバに結合されるアライメントビームの強度をさらに最大化するようにアライメント調整されてよい。

#### 【0019】

本発明の別の側面が、波長可変ダイオードレーザ吸収分光法を用いて燃焼プロセスにおけるNOを検出する方法である。このNO検出方法は、約670 nmの波長のレーザ光を供給することと、ピッチ側の光ファイバ内のレーザ光を燃焼場所へ伝送することと、燃焼プロセスの中を通してレーザ光を放射することと、キャッチ側の光ファイバの中にレーザ光を受け取ることとから成る。この方法は、さらに、キャッチ側の光ファイバの中のレーザ光を検出器に伝送することと、その検出器に伝送されるレーザ光に関連した検出器からの信号を生成することとから成る。これに加えて、この方法は、その信号からNO<sub>2</sub>濃度を計算することと、この計算されたNO<sub>2</sub>濃度からNO濃度を求めることとから成る。このNO検出方法は、ダイオードレーザによって約1340 nmの波長を有するレーザ光を生じさせることと、疑似位相整合周期分極導波路 (quasi-phase matched periodically poled waveguide) においてそのレーザ光を周波数2倍化することとによって、波長670 nmのレーザ光を供給することによって実現されてよい。適している導波路は、疑似位相整合周期分極ニオブ酸リチウム導波路である。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0020】

##### 検出装置

図1に示されているように、本発明の実施形態は、燃焼プロセスの検出と監視と制御とに適している検出装置10である。この検出装置10は、近赤外または中赤外スペクトルの選択された周波数でレーザ発振する一連の波長可変ダイオードレーザ12からのレーザ光を使用することによって波長可変ダイオードレーザ吸収分光法(TDLAS)を行う。各々の波長可変ダイオードレーザ12の出力は、単一モード光ファイバ14であってよい個別の光ファイバに結合され、および、マルチプレクサ16に送られる。本明細書で使用される場合に、「結合されている(coupled)」、「光学結合されている(optically coupled)」または「光学的に連絡している(in optical communication with)」は、光が中間の構成要素または自由空間を通解してまたは通過せずに第1の構成要素から第2の構成要素に進むことができる場合の相対物の相互間の機能的関係と定義される。マルチプレクサ16内では、その発生周波数の一部または全部の周波数のレーザ光が、複数の選択さ



(12)

JP 2006-522938 A 2006.10.5

れた周波数を有する多重化プローブビーム (multiplexed probe beam) を形成するために多重化される。この多重化プローブビームはピッチ側の光ファイバ18に結合され、および、図1に燃焼室22として示されているプロセスチャンバに作動的に関連付けられているピッチ光学部品20すなわちコリメータに伝送される。

#### 【0021】

ピッチ光学部品20は、燃焼室22の中を通して多重化プローブビームを放射するように方向配置されている。キャッチ光学部品24が、燃焼室22を経由してピッチ光学部品20と光学的に連絡している。キャッチ光学部品24が、ピッチ光学部品20の概ね反対側に位置しており、かつ、燃焼室22に作動的に関連付けられていることが好ましい。このキャッチ光学部品24は、燃焼室22の中を通して放射される多重化プローブビームを受け取るように配置されかつ方向付けられている。キャッチ光学部品24は、キャッチ光学部品24によって受け取られる多重化プローブビームの一部分をデマルチプレクサ28に伝送するキャッチ側の光ファイバ26に光学的に結合されている。デマルチプレクサ28内では、キャッチ光学部品24によって受け取られた多重化プローブビームの一部分が逆多重化され、および、この逆多重化されたレーザ光の各波長が出力光ファイバ30に結合される。一方、各々の出力光ファイバ30は検出器32に光学的に結合されており、この検出器32は、典型的には、そのプローブビームを形成するように生成され多重化されたレーザ光の選択された周波数の中の1つの周波数に対して感度を有する光検出器である。検出器32は、検出器周波数で検出器32に伝送される光の性質と量とに基づいて電気信号を生成する。各検出器32からの電気信号は、典型的には、データ処理システム34内でデジタル化されて分析される。より詳細に後述するように、このデジタル化され分析されたデータは、燃焼室22内の様々なガス化学種の濃度と燃焼温度とを非限定的に含むプロセスチャンバ内の物理パラメータを検出するために使用されることが可能である。データ処理システム34は、さらに、フィードバックループ36を通して燃焼制御装置38に信号を送り、および、それによって選択されたプロセスパラメータを能動的に制御するために使用されることが可能である。燃焼プロセスの場合には、制御されるプロセスパラメータは、燃料（例えば、微粉炭）供給量と、酸素供給量と、触媒または化学薬剤の添加速度とを含むことが可能である。検出装置10のピッチ側とキャッチ側の両方の電子構成要素と光学構成要素との光ファイバ結合の使用が、波長可変ダイオードレーザ12と検出器32とデータ処理システム34とのような、壊れやすくして温度の影響を受けやすい装置が、安定した動作環境を有する制御室の中に配置されることを可能にする。したがって、比較的頑丈なピッチ光学部品20およびキャッチ光学部品24だけが、燃焼室22の過酷な環境の付近に配置されることが必要であるにすぎない。

#### 【0022】

図2は、ファイバ結合多重化検出システム40の全体的な構成要素の配置を簡略的に示す。この検出システム40は、一般的に、システムラック42と、ブレイクアウトボックス44と、ピッチ光学部品48を有するトランスミッタヘッド46と、キャッチ光学部品52を有するレシーバヘッドと、接続光ファイバとから成る。システムラック42が燃焼室54から例えば1キロメートルのような距離に位置している遠隔制御室内に配置されていることが好ましい。この制御室は、典型的には、適度な環境を有するだろう。システムラック42は、レーザ56と、検出器58と、波長マルチプレクサ60と、波長デマルチプレクサ62とを含む。このシステムラック42は、さらに、システム電子機器と制御ソフトウェア（図2には示されていない）も収容する。システムラック42は、採用随意に、アラインメント光源64を収容してもよい。

#### 【0023】

システムラック42をブレイクアウトボックス44に接続する光ファイバは、典型的には、標準的な単一モードの遠距離通信用光ファイバである。このタイプのファイバは安価であり、容易に入手可能であり、低損失であり、かつ、光スイッチと光ブリックと波長分割マルチプレクサとのような光を操作するための様々な標準製品の遠距離通信用部品にレーザ光が送られることを可能にする。光ファイバ結合なしでは、ずっと自由空間を通



(18)

JP 2006-522938 A 2006.10.5

通してレーザ光が燃焼室54に送られなければならない、このことは実現が非常に困難であろうし、または、この代わりに、高感度の電子機器と光学部品とが燃焼室54の直ぐ近くに配置されることが必要だろう。

#### 【0024】

さらに、図2にはブレイクアウトボックス44も示されている。このブレイクアウトボックス44は、ボイラの近くに配置されている堅牢化された密閉容器である。このブレイクアウトボックス44は、複数のトランスミッタヘッド／レシーバヘッド対に光学信号を送るために後述するように使用されてよい光スイッチと光ブリッタと光カプラ（一括して66で示されている）とを収容する。

#### 【0025】

図2に示されている第3のグループのシステム構成要素がトランスミッタヘッド46とレシーバヘッド50である。トランスミッタヘッド46とレシーバヘッド50との中の光学部品と電子機器は、ファイバ68内の光を平行ビームに変換し、このビームを正確に燃焼室54の中を通して送り、燃焼室54の遠端上でビームを捕捉し、かつ、このビームをファイバ70の中に結合しなければならない。これを実現するための光学部品の選択が、伝送距離と、燃焼区域の乱流と、伝送されるビームの品質に対するこの乱流の影響と、ファイバ70のコアサイズとによって決定される。ファイバのコア径が50ミクロンであることが好ましく、このことは妥協であり、すなわち、より大きいコアはより多くのレーザ光を捕捉するが、しかし、同時に、はるかにより多くの背景光も捕捉する。キャッチ（レシーバ）側でのファイバ結合は幾つかの利点を有する。特に、レーザ光と同一の場所においてかつ同一の方向に進む光だけがファイバ70の中に集束される。このことは、検出される背景光の量を劇的に減少させる。別の実施形態では、光が幾つかのレシーバファイバの中の1つのレシーバファイバの中に捕捉されてもよく、および、光スイッチまたは他の光経路選択装置が、後述器58への転送のために1つのファイバからの光を選択することが可能である。

#### 【0026】

キャッチ側でのファイバ結合の使用は、トランスミッタの光学部品とレシーバの光学部品との両方のアライメント公差が正確に維持されることを必要とする（トランスミッタの照準とレシーバの照準との両方に関して0.5ミリラジアン未満）。後述するアライメント調整システムが、過酷な発電所環境においてこの公差を満たすことを可能にする。ピッチ光学部品48とキャッチ光学部品52との両方が、複数のレーザ信号が同時に効率的に送信および受信されることが可能であるように、660nmから1650nmまでの波長に関して特注設計かつ収差補正されることが好ましい。

#### 【0027】

##### 複数の組の検出光学部品を有する検出装置

図1を再び参照すると、この図には、単一の燃焼室22に関連付けられている2つ以上の組のピッチ光学部品20とキャッチ光学部品24とを特徴とする実施形態が概略的に示されている。多重化プローブビームは、図1に示されているように光スイッチ72であってよい経路選択装置によってピッチ光学部品20の各組に送られることが可能である。通している経路選択装置は、予め決められたシーケンスでピッチ光学部品／キャッチ光学部品の各組に対して最少の減衰を伴ってプローブビームを送るよう实现されてよい光スイッチ、または、光学部品の各組に対して多重化プローブビームの分別部分を同時に送る光ブリッタを含む。

#### 【0028】

図1においてマルチモード光スイッチ74として示されている同様の光経路選択装置が、各キャッチ光学部品24によって受け取られた多重化プローブビームの一部分をキャッチ側のデマルチプレクサ28に送るために、そのシステムのキャッチ側で使用されることが可能である。図1に示されている実施形態は2つの組のピッチ光学部品およびキャッチ光学部品だけを示すが、そのシステムは、任意の数の組のピッチ光学部品およびキャッチ光学部品を使用することが可能である。そのシステムのピッチ側とキャッチ側の両方でフ

(19)

JP 2006-522938 A 2006.10.5

ファイバ結合と（逆）多重化プローブビームとを使用することが、1つの組のレーザー12と検出器32とによって複数の組のピッチ光学部品とキャッチ光学部品が実現されることを可能にする。光多重化技術を含まない場合には、すべてが校正を必要とする別々の組のレーザーと検出器とファイバケーブルが各々のトランスミッタ／レシーバ対毎に必要とされるだろう。詳細に後述するように、複数のトランスミッタ／レシーバ対が、例えば下流のガスプロセスを検出するための、燃焼室22または他の場所の全体にわたっての1つまたは複数の2次元検出格子の実現を可能にする。2つの極めて単純化された検出格子、すなわち、大球検出格子76と下流検出格子78との略図が図3に示されている。これに加えて、本発明のファイバ結合という特質が、容易に入手可能な遠距離通信部品が有効な効果を得るために使用されることを可能にする。例えば、光ファイバスイッチが、測定のために異なる場所に多重化プローブビームを送るのに使用されることが可能である。Nが8までである1×Nの光スイッチが、様々な供給業者から標準量産品の部品として容易に入手可能である。Nが16までであるスイッチが特別注文されることが可能である。

#### 【0029】

スイッチと複数の対のピッチ光学部品／キャッチ光学部品とが、燃焼室全体にわたっての異なる場所でガス化学種の連続的な調査のために使用されることが可能である。平均化された結果で十分な状況では、異なるビーム経路の連続的な調査が許容可能である。しかし、特定の用途が検出格子全体の瞬時の調査を必要とすることがある。例えば、特定の燃焼プロセスのフローが高周波数変動を示すか、または、このフローが、例えば衝撃波管または衝撃波風洞のように、短時間の間だけしか存在しないだろう。この場合には、1×Nスプリッタが、検出格子の互いに異なる位置を各々が占めるN個の分枝にプローブビームを分割するために使用されてよい。格子全体が同時に照明されるので、2次元分析が非常に迅速に生じさせられることが可能である。しかし、同時の2次元分析は、キャッチ側の各構成要素が、デマルチプレクサと、検出器と、A/Dカードのような電子機器と、ある程度はコンピュータを含む各ビーム経路に再現されることを必要とするだろう。

#### 【0030】

したがって、スイッチまたはスプリッタを特徴とする実施形態が、調査される領域の2次元断面の幾分か大まかなトモグラフィック再構成 (tomographic reconstruction) を容易にする。ガス濃度のトモグラフィ法 (tomography) を行うためにダイオードレーザを使用することは公知の技術であるが、しかし、大きな追加の利益が、波長多重化されたプローブビームの使用の結果として本発明によって得られる。波長多重化ビームは、2つ以上の吸収線の同時分光分析を可能にする。したがって、詳細に後述する温度測定のような2つ以上の吸収線に依存するTDLS技術が、検出格子全体にわたって行われることが可能である。温度とガス化学種濃度の両方がこのようにしてマッピングされることが可能である。

#### 【0031】

##### SCRとSNCRにおけるトモグラフィの具体的な適用

上述の大まかなトモグラフィの具体的な適用が図3に概略的に示されており、および、石炭燃焼発電ボイラ廃出液またはガス燃焼発電ボイラ廃出液からの $\text{NO}_x$ の還元のためのSCR（選択触媒還元）とSNCR（無触媒還元）におけるアンモニア注入の最適化に関する。この用途では、アンモニア注入器または尿素注入器の行列80がボイラ廃出液の流れの中に配置される。 $\text{NO}_x$ 濃度を最小にするために、超過量のアンモニア（または尿素）がその廃出液に加えられてよい。 $\text{NO}_x$ は厳しく規制された非常に有害な空気汚染物質のグループである。この加えられたアンモニアは $\text{NO}_x$ を化学的に還元し、および、無害な窒素気体と水とを生成物として生じさせる。しかし、加えられる過剰なアンモニア（または尿素）の量は、これらの化学物質自体が有害な大気汚染物質でありかつ非常に高価なので、最小限にされなければならない。典型的には、3-5 ppm未満の超過濃度のアンモニアが望ましい。しかし、発電所の燃焼廃出液中の $\text{NO}_x$ の分布は均一ではなく、かつ、時間的に安定していない。これに加えて、アンモニア注入器の1つまたは複数が任意の特定の時点において故障するかも知れず、この故障はアンモニア濃度の局所的な減少の原



(20)

JP 2006-522938 A 2006.10.5

図となり、および、このことが $\text{NO}_x$ 濃度における局所的なブリードスルー (bleed through) を生じさせる可能性がある。上述の通りの下流TDLAS格子78検出によってアンモニアまたは $\text{NO}_x$ の空間濃度を監視することが可能なので、本発明は、不均一なアンモニア分布が検出されて軽減されることを可能にする。したがって、2次元化学種濃度によるアンモニア注入格子76の最適化と注入器全体にわたる個別的な制御とが、SCR/SNCRプロセスの最適化を可能にする。検出器とアンモニア注入器とが、アンモニア注入器の自動化されたフィードバック制御を監視するデータ処理システムにリンクさせられてもよい。

#### 【0032】

本明細書に開示されているアンモニアスリップ (ammonia slip) 検出システムのような最適化されたアンモニアスリップ検出システムが、 $\text{NO}_x$ 濃度を監視する能力を含むことが好ましいだろう。 $\text{NO}_x$ は $\text{NO}$ と $\text{NO}_2$ の両方を含む。残念であるが、頑丈なNIRダイオードレーザは、1.7ミクロンから1.8ミクロンの範囲内で生じる2次 $\text{NO}$ オーバートーン遷移だけにアクセスすることが可能であるにすぎない。大半の廃出液流の中に存在する比較的低い濃度を考慮すると、この遷移は $\text{NO}$ を検出するためには弱すぎる。したがって、 $\text{NO}$ 濃度を直接監視することは実際的ではない。しかし、 $\text{NO}_2$ が、 $\text{NO}$ を生じさせるプロセスと同じプロセスで生じさせられる。熱 $\text{NO}_2$ プロセスとして発電産業で公知であるこれらのプロセスは、 $\text{NO}$ と $\text{NO}_2$ の両方を生じさせ、および、典型的な条件下では、 $\text{NO}$ は総 $\text{NO}_x$ 濃度の約95%を占め、かつ、 $\text{NO}_2$ は残りの5%を占める。この比率は、典型的には、環境の湿度と酸化可能性とに依存する。上述したように、この技術は、標準採取されたガスの濃度の測定も可能にする。しかし、 $\text{NO}$ 濃度と $\text{NO}_2$ 濃度とが互いに追従することが予測される。したがって、 $\text{NO}_2$ は $\text{NO}$ のための代用の分析化学種として使用されることが可能である。本発明は、670 nmの波長において $\text{NO}_2$ を監視する能力を実現する。この波長は、位相整合周期分極ニオブ酸リチウム導波路内で周波数2倍化された1340 nm分散フィードバック (DFB) レーザを使用して生じさせられる。 $\text{NO}_2$ 濃度が $\text{NO}$ 濃度の5%にすぎなくても、 $\text{NO}_2$ 吸収強度は数桁大きい。したがって、 $\text{NO}_2$ は、 $\text{NO}$ 還元プロセスの最適化を容易にするために、ボイラ内に存在する濃度で容易に検出されることが可能である。

#### 【0033】

##### 波長可変ダイオードレーザ吸収分光法

本発明は、レーザ分光法の分野の専門家にとって公知である技術を使用してTDLASを行う。一般的に、TDLASは、ターゲット環境の中を通したレーザ光の伝送と、その後での、一酸化炭素または酸素のようなターゲットのガスを原因とする特定の波長でのレーザ光の吸収の検出とによって行われる。検出された光のスペクトル分析が、レーザ経路に沿ったガスのタイプと量の識別を可能にする。直接吸収分光法の詳細が、Teichert, FernholzおよびEbertの "Simultaneous in situ Measurement of  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , and Gas Temperature in a Full-Sized, Coal-Fired Power Plant by Near-Infrared Diode Lasers" (Applied Optics, 42(12):2043, 20 April 2003) に説明されており、この全体が本明細書に引用として組み込まれている。レーザ吸収分光法の非接触という特徴が、このレーザ吸収分光法を、石炭燃焼発電所の燃焼区域、または、他のプローブが使用不可能な易燃性もしくは有毒性の環境のような過酷な環境に適したものに作る。レーザ光の使用が、こうした環境の幾つかにおいて適応することがある極度の減衰（典型的には、99.9%を超える光損失）の存在下において検出可能な伝送を得るために必要な高い輝度を実現する。ターゲット用途の過酷な条件により適切に耐えるために、レーザ光は、防護された光ファイバを通してターゲット環境に対して送り込まれてよい。

#### 【0034】

濃度または複数の燃焼プロセス成分ガスの効果的な検出が、複数の互いに広く間隔があった周波数のレーザ光を使用するTDLASの実行を必要とする。選択された周波数は、監視される遷移の吸収線に適合しなければならない。例えば、上述したように、放射 $\text{NO}$ 濃度を概算するためには670 nmの波長で $\text{NO}_2$ を監視することが有用である。さらに